

산업용 클린룸에 있어서 필터의 유지관리에 대하여

김 정 호
한국캠브리지필터(주)/공장장

1. 서 론

산업용(반도체, 베어링, 자기테이프, 자기드럼, 브라운관, 프린트판, 소형릴, 정밀전기계기, 전자시계, 로켓용부품, 렌즈연마 및 필름 등) 클린룸의 필터 유지관리에 대하여 문제점이 발생된 사례별로 조치결과를 기술하고자 한다. 특히 유지관리의 중요 포인트는 클린룸에 필터를 설치후에는 미립자(Particle)의 누설 및 풍속 분포시험이며 장단기간 사용중에는 필터의 분진 흡착량에 따른 압력손실, 이상 상태의 미립자 누설, 풍속 분포시험 등이다.

2. 클린룸 시스템(System) 및 시스템 실링(System Ceiling) 현황

2.1 대표적인 시스템(System) 현황

외기처리계통에는 프리필터 및 아프트 필터를 설치하여 1 μ m 이상 크기의 큰 입자를 제거(그림 2참조)하고 화학 반응제 필터를 사용하여 외기중의 유해가스(NOX, SOX, N₂S, 암모니아, 악취 등)를 제거하고 아프트필터를 설치

하여 화학 반응중에 발생된 미립자(Particle)를 제거하여 1차 청정된 공기를 최종필터(Final Filter)로 유입시키므로써 최종필터의 수명을 연장시키고 목표한 클린룸의 청정도를 유지시킨다. 또한 에어 순환계에도 외기처리계와 같이 프리필터, 화학반응제 필터 및 아프트 필터를 설치하여 클린룸의 소기의 목적을 달성시키고 있다.

2.2 대표적인 시스템 실링(System Ceiling) 현황

산업용 클린룸에는 그림 3과 같은 타이트·실(Tight·Seal)시스템 실링(System Ceiling)방법을 많이 적용하고 있다.

실링(Sealing) 재료는 실리콘·실란트(Silicon Sealant)를 사용하며 작업원의 기능도에 따라 기밀의 확실성이 좌우되므로 특히 설치수량이 많을 경우 주의가 요한다.

실링(Sealing)제의 재료에 따라서는 장기간의 진동에 의해 균열등 격리현상으로 누설이 발생되어 청정도가 나빠지는 경우도 있으므로 주의가 요한다. 또한 지진, 진동 등에 따라 Seal제의 밀봉량이 적을 경우 균열의 가능

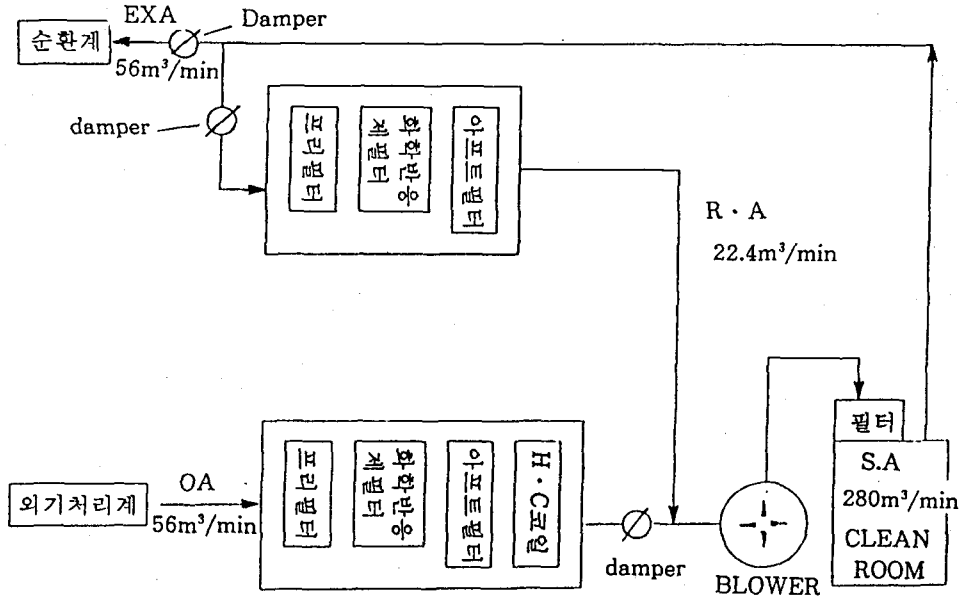


그림 1. 에어시스템 (Air System)

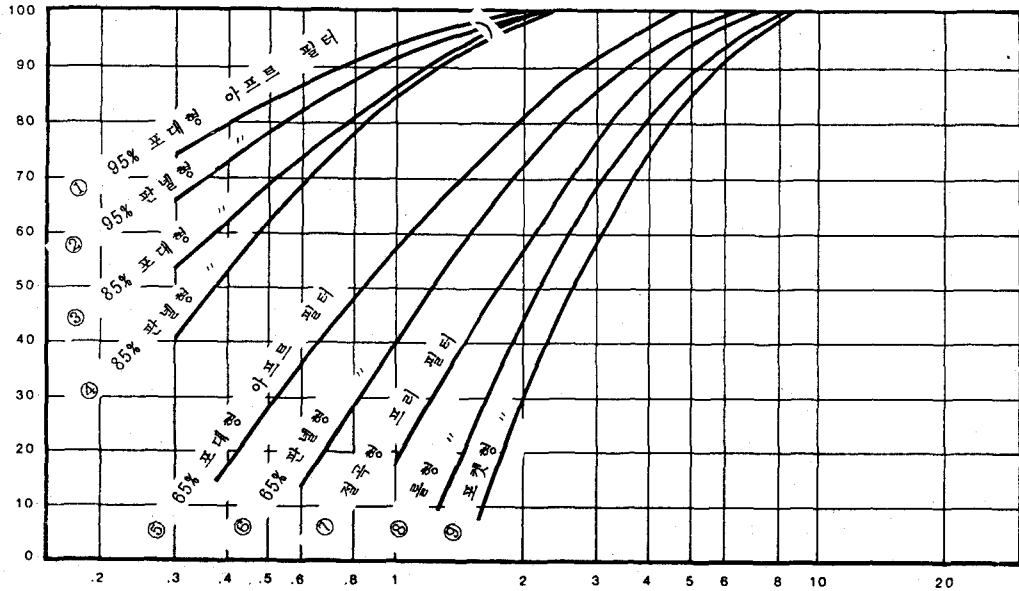


그림 2. Laser Fractional Efficiency Test Data

주) 프리필터(NO ⑦ ⑧ ⑨) 및 아프트 필터 (NO ① ② ③ ④ ⑤ ⑥)의 입경별 포집효율

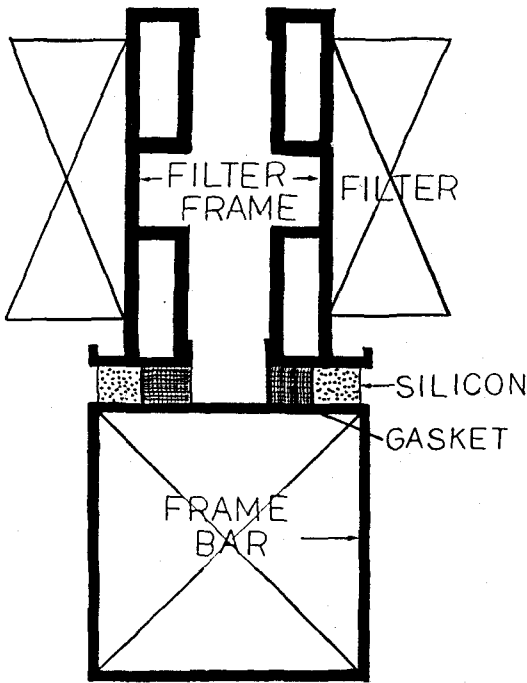


그림 3. 시스템 실링(System Ceiling)

성이 있으므로 주의가 요한다.

시공시 필터의 Level 조정 및 실링(Sealing)에 주의가 요한다.

3. 유지관리

3.1 필터 설치후 초기단계의 유지관리

초기단계에서 문제점 발생 사례별 조치 현황은 표 1과 같다.

3.2 클린룸 가동후 필터의 수명 특성 관리

클린룸의 프리필터 유무에 따른 필터의 수명차이를 그림 4에 나타내었으며 클린룸 유지관리시 반드시 운전시간별 필터의 압력손실 변화를 측정하여 필터를 적기에 교환하는

것이 매우 중요하다. 왜냐하면 그림 4에 나타난 바와 같이 최종 압력 손실치에 접근하게 되면 압력손실이 급상승하기 때문이다.

KEY	필터	전처리 필터 유무
△	HEPA	無
○	HEPA	중성능 필터 (ASHRAE 52-76:60% 효율)

시험 유 량	m ³ /min
시험 분 체	대기진
시험 장소	일본동경 근교
그림의 수치	그 시점의 필터의 분진 흡착량(g)

3.3 클린룸 가동후 필터의 산화현황 관리

산업의 급격한 발달로 인하여 제품생산 공정중 여러가지 산(H₂SO₄, HCL, HF 등)을 사용하는 경우가 있다. 이러한 공장의 클린룸은 다음과 같이 필터를 관리하여야 한다.

3.3.1 HEPA 여재의 C·H·N(탄소, 수소, 질소, 분석)관리

여재를 사용전과 사용후의 Carbon(C), Hydrogen(H), Nitrogen(N)의 함유량을 분석하여 여재의 변화를 검토하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

표 2에서 나타난바와 같이 사용기간이 긴 (A), 및 (B) Area의 경우에는 Carbon 함유량이 점차 증가됨을 알 수 있다. 또한 Hydrogen함유량도 사용기간이 긴(A) 및 (B) Area의 경우에는 증가됨을 알 수 있다. 그러나 Nitrogen함유량은 사용기간이 긴(A) 및 (B) Area의 경우 반대로 감소됨을 알 수 있다. 이와같이 CHN검사로 여재의 사용 변화

표 1 초기단계의 문제점 발생 사례별 조치현황

NO	문 제 점 내 역	조 치 내 역	비 고
1	필터설치시 필터면이 작업자의 머리 및 공구에 반혀 여재 파손으로 리크(Leak) 발생.	필터면 보수 불가능으로 새필터로 교체 설치. 필터보수기준: (1) 필터 보수시 보수 부위는 필터 전체 표면적의 1% 이내. (2) 필터의 보수된 한부분의 크기 는 13cm(36mm×36mm)이내	System : Clean Booth
2	프리필터의 프레임 부분에 가스켓 미부착 설치로 리크(Leak) 발생.	프리필터의 해체후 가스켓 부착후 재설치	System : 공조기의 A·H·U
3	HEPA 필터의 불량 프레임 사용으 로 프레임에서 리크(Leak)발생.	프레임 불량 부위 및 이음새 부위 에 실리콘 접착제로 코킹처리	System : 공조기의 A·H·U
4	HEPA 필터 설치후 실리콘 접착제 의 마감처리 불량으로 리크(Leak) 발생.	리크 발생부위에 외관 향상을 고려 하여 투명실리콘으로 코킹처리	System : 클린룸 Open Bay 방식
5	HEPA 필터 설치시 필터 상부면 (Air·in측)에 공구에 의해 취급 부 주의로 리크(Leak)발생.	HEPA 필터 탈착후 필터 보수기준 면적 이하로 보수하여 재설치	System : 클린룸 C·T·M 방식
6	HEPA 필터 설치 완료후 타설비 작업시 필터면 크게 파손으로 리크 (Leak) 발생.	HEPA 필터 제작시의 동일 여재를 잘라 파손 부위를 감싸고 실리콘 접착제로 보수처리.	System : 클린룸 Open Bay 방식
7	HEPA 필터를 클린룸에 설치하기 위하여 반입시 취급 부주의로 필터 면 파손으로 리크(Leak) 발생.	보수용 실리콘 접착제로 파손부위 보수후 설치	System : 공조기의 A·H·U
8	HEPA 필터 설치시 조임상태 불량 으로 대량 리크(Leak) 발생.	필터 재제작하여 조임상태 재조정 하여 설치.	System : 공조기의 A·H·U
9	HEPA 필터 설치시 무리한 힘으로 프레임을 망치로 때려서 설치하여 필터 여재 손상되어 리크(Leak) 발생.	필터 보수 불가능하여 재제작 설 치.	System : Clean Booth
10	HEPA 필터 설치시 조임상태의 미 흡으로 소량 리크(Leak) 발생.	필터 탈착하여 조임상태 재조정하 여 설치	System : Clean Booth

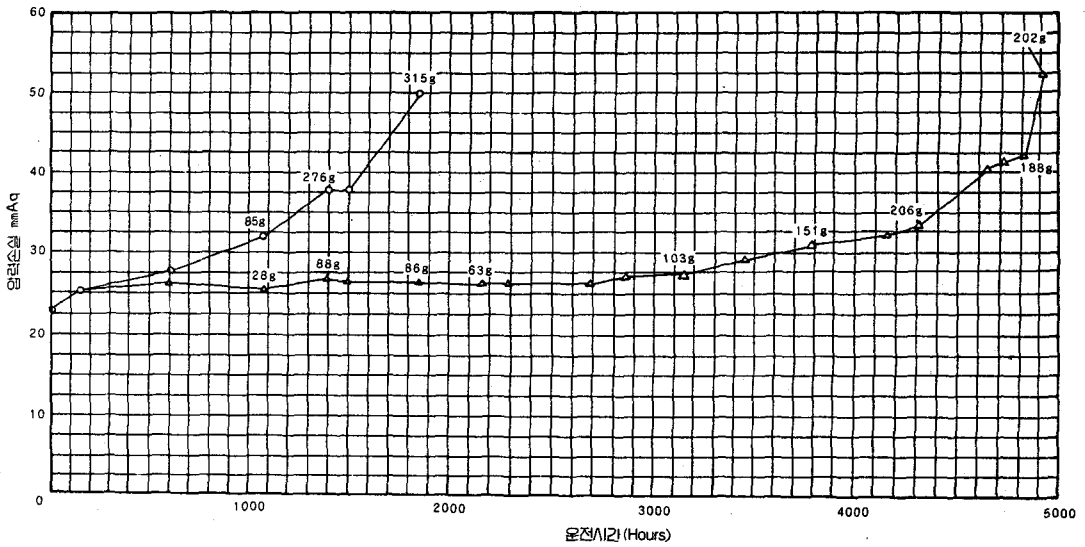


그림 4. HEPA 필터와 HEPA 필터+ 전처리 필터의 수명 특성

표 2 여재의 CHN 검사결과현황

구분 여재의 종류	성분함유율(%)			Sample Weight μg	Test Machine	검 토 내 역	
	C	H	N			사용기간	사용장소
NEW 여재	2.77	0.31	0.74	1902	CHN ANALYZER MODEL P.E.240B	0개월	NEW 여재
OLD 여재(A)	3.35	0.34	0.41	2081	CHN ANALYZER MODEL P.E.240B	12개월	클린룸의 (A) Area
OLD 여재(B)	4.06	0.39	0.23	2170	CHN ANALYZER MODEL P.E.240B	12개월	클린룸의 (B) Area

표 3 여재(NEW)의 FTIR검사 DATA

Searching library 7 - Aldrich
 NICOLET/ALDRICH IR LIBRARY.
 COPYRIGHT(C) 1987 - Nicolet Instrument Corp.
 Searching 10607 - spectra
 Region Searched: 4000.0 - 500.0cm - 1
 Library Name: NICOLET/ALDRICH IR LIBRARY - 7
 Sample Name: FOXALL NEW
 The best matches of type AD

Fileid	Match #	LIB #	Title
9944	216	7	4-BROMOBUTYRYL CHLORIDE 96%
9210	229	7	TYIONYL BROMIDE, 97%
9237	233	7	SILVER SULFATE. 99.999% GOLD LAB
9209	238	7	THIONYL CHLORIDE. 99+ %, GOLD LABE
332	239	7	CARBON TETRACHLORIDE, 99%
10424	241	7	HYDROXYPROPYL METHYL CELLULOSE
1926	243	7	GLYOXAL, 40WT.% SOLUTION IN WAT
8460	243	7	NITRILORTIS(METHYLENE) TRIPHOSPHON
8301	246	7	CARBON DISULFIDE 99+ % SPECTROPH
840	248	7	WATER, DEUTERIUM-DEPLETED, GOLD L

표 4 여재 (OLD:A)의 FTIR 검사 DATA

Searching library 7 - Aldrich
 NICOLET/ALDRICH IR LIBRARY.
 COPYRIGHT (C) 1987 - Nicolet Instrument Corp.
 Searching 10607 spectra
 Region Searched: 4000.0 - 500.0cm - 1
 Library Name: NICOLET/ALDRICH IR LIBRARY - 7
 Sample Name: FOXALL A AREA
 The best matche of type AD

Fileid	Match #	LIB #	Title
9944	222	7	4-BROMOBUTRYL CHLORIDE 96%
10424	229	7	HYDROXYPROPYL METHYL CELLULOSE
9237	232	7	SILVER SULFATE.99.999% GOLD LAB
1926	237	7	GLTOXAL, 40WT.% SOLUTION IN WAT
9210	239	7	THIONYL BROMIDE, 97%
8460	248	7	NITRILOTRIS(METHYLENE) TRIPHOSPHON
1153	249	7	D-ERYTHROSE, 85%
332	256	7	CARBON TETRACHLORIDE, 99%
10425	261	7	HYDROXYBUTYL METHTL CELLULOSE
8301	263	7	CARBON DISULFIDE, 99+ % SPECTROPH

표 5 여재(OLD:B)의 FTIR 검사 DATA

Searching library 7- Aldrich

NICOLET/ALDRICH IR LIBRARY.

Searching 10607 spectra

Region Searched:4000.0-500.0 cm-1

Library Name:NICOLET/ALDRICH IR LIBRARY-7

Sample Name:FOXALL B AREA

The best matches of type AD

Fileid	Match #	LIB #	Title
9944	217	7	4-BROMOBUTYRYL CHLORIDE 96%
10424	226	7	HYDROXYPROPYL METHTL CELLULOSE
9237	228	7	SILVER SULFATE. 99.999% GOLD LAB
9210	235	7	THIONYL BROMIDE 97%
1926	241	7	GLYOXAL, 40WT.% SOLUTION IN WAT
332	253	7	CARBON TETRACHLORIDE, 99%
8460	253	7	NITRILORTIS(METHYLENE) TRIPHOSPHON
1153	254	7	D-ERYTHROSE, 85%
8301	260	7	CARBON DISULFIDE, 99+ %, SPECTROPH
10425	260	7	HYDROXYBUTYL METHYL CELLULOSE

표 6 여재의 FTIR검사 결과 분석

NO	시 험 항 목	NEW MEDIA	OLD-A MEDIA	OLD-B MEIDA	비 고
1	4-BROMOBUTYRYL CHLORIDE	96%	96%	96%	
2	THIONYL BROMIDE(브롬화티오닐)	97%	97%	97%	
3	SILVER SULFATE(황산은)	99.999%	99.999%	99.999%	GOLD LABEL
4	THIONYL CHLORIDE(염화티오닐)	99%	NO	NO	
5	CARBON TETRACHLORIDE(사염화탄소)	99%	99%	99%	
6	GLYOXAL WEIGH%(글리옥살)	40%	40%	40%	SOLUTION IN WATER
7	CARBON DISULFIDE(이황화탄소)	99%	99%	99%	SPECTROPH
8	D-DRYTHROSE(디-에리트로스)	NO	85%	85%	

를 검토하는데 기초자료로 활용하고자 한다.

3.3.2 여재의 FTIR관리

여재에 대하여 사용전과 사용후의 FTIR 검사 즉 "Fourier Transform Infrared Spectroscopy"(적외선 분광법 시험)에 의거 IR영역의 에너지 흡수에 따른 물질내 화학결합 확인으로 여재의 오염도를 시험하여 여재의 성능 변화를 측정한다.

3.3.3 여재의 EDAX 및 SEM 관리

ULPA 여재를 사용전과 사용후의 EDAX 및 SEM 검사를 실시하여 클린룸의 산분위기 속에서 여재의 PH(산성도) 변화를 측정하여 여재의 성능 변화 및 여재속에 함유된 오염물의 함유량을 측정하여 여재의 수명 변화를 측정한다.

여재의 PH(산성도) 측정은 1.0g의 시료를 잘게 자른후 10ml의 2차 증류수(18mOhm)에 10분간 담군 후 Beckman전극으로 PH(산성도)를 측정한다.

ULPA 여재(NEW)의 PH(산성도)는 8.21

ULPA 여재(OLD : A) (A ZONE)의 PH(산성도)는 3.87

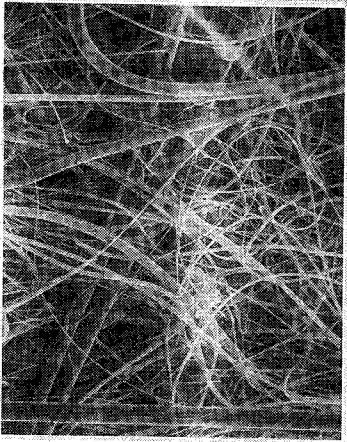
ULPA 여재(OLD : B) (B ZONE)의 PH(산성도)는 5.48로서 산성분위기 속에서 PH가 감소되었음을 알 수 있다.

EDAX(X-선의 에너지 분산에 의한 원소 분석)는 Elemental(E) analysis by energy dispersion(D) analysis(A) of X-rays(X)를 의미하고

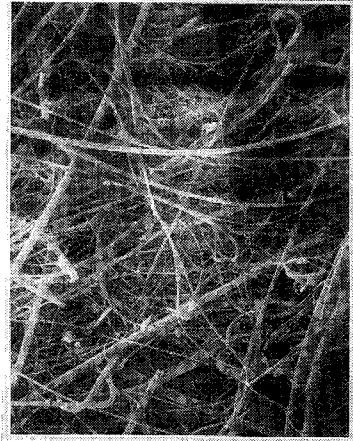
SEM(전자현미경 사진)은 Scanning(S) Electron(E) Microscopy(M)을 의미한다.

EDAX 시험 그래프는 그림 8, 9, 10과 같다. 또한 EDAX 시험 결과는 표 7, 8, 9, 10과 같다.

필터의 산화여부에 대한 검토 결과를 분석하여 이와 같이 필터가 산화되어가고 있음이 판명될 시에는 조속히 공장내의 산성분 누설 부위를 찾아내어 설비를 개선하여 산의 방출을 방지시켜야 한다. 그리고 산화된 필터는 적기에 교환하여 대형사고를 미연에 방지시켜야 한다. 생산 공정에 산이 필요하여 계속 사용이 불가피 할때는 내산용 HEPA 및 ULPA 필터를 사용하여 필터의 산화 및 여



<사진 1> 여재(NEW)의 SEM, 1000배 확대
(이물질이 없음)



<사진 3> 여재(OLD : B)의 SEM
(이물질이 흡착됨) 1000배 확대



<사진 2> 여재(OLD : A)의 SEM
(이물질이 흡착됨) 1000배 확대

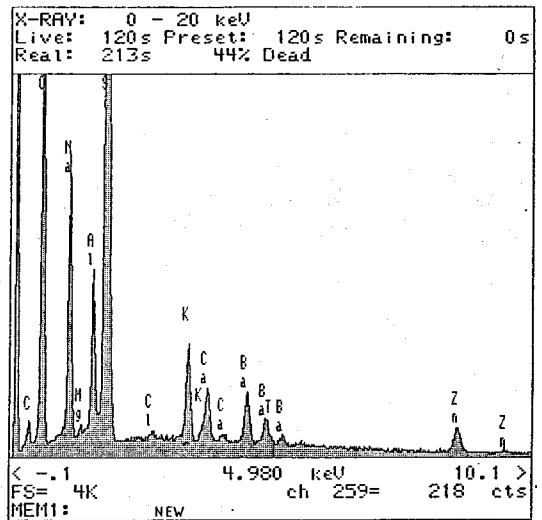


그림 5. 여재(NEW)의 FTIR 시험 그래프

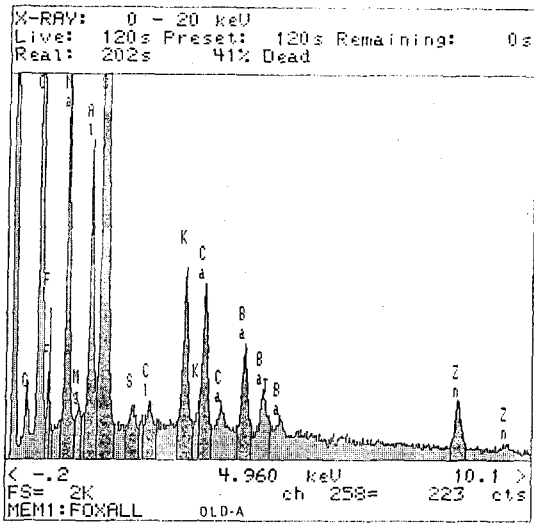


그림 6. 여재(OLD: A)의 FTIR 시험 그래프

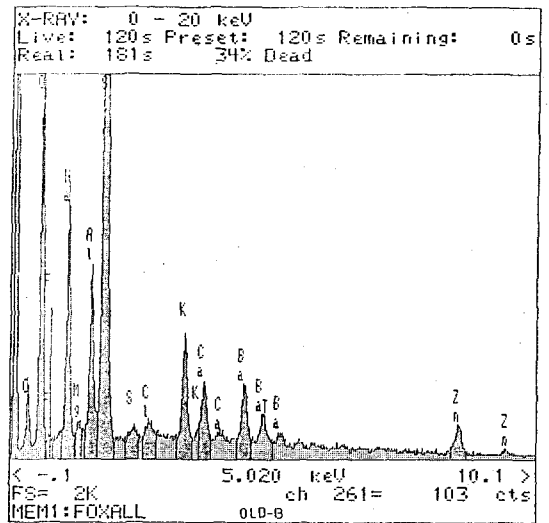


그림 7. 여재(OLD: B)의 FTIR 시험 그래프

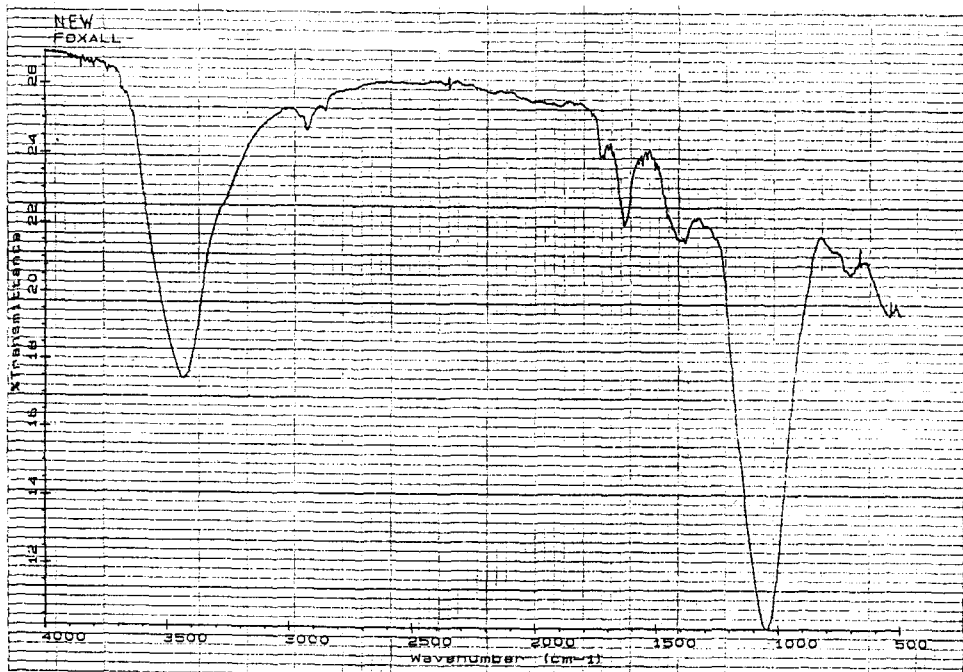


그림 8. 여재(NEW)의 EDAX 시험 그래프

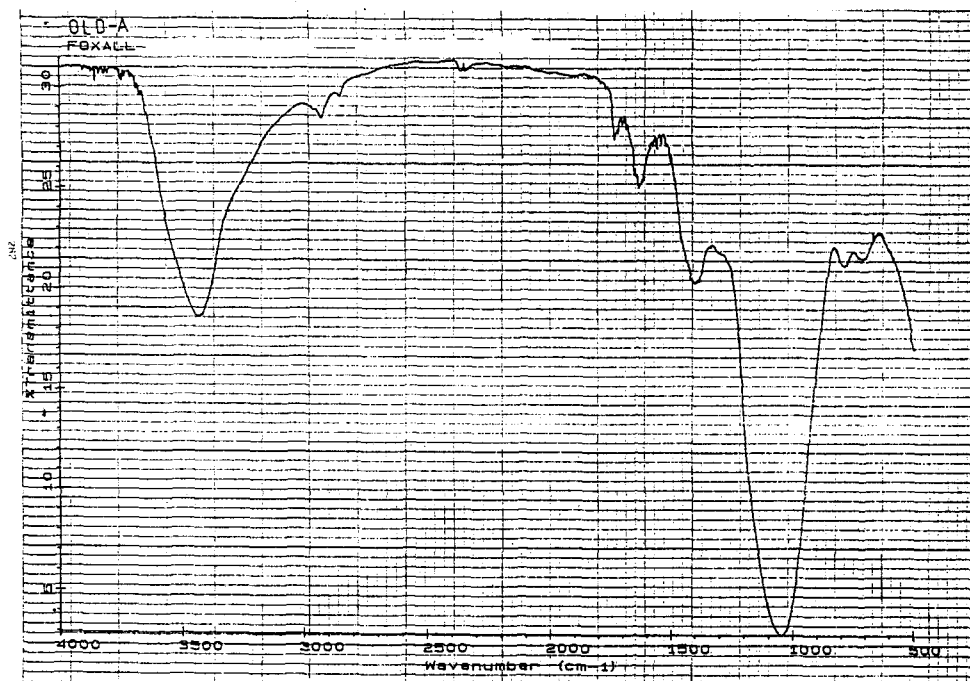


그림 9. 여재(OLD:A A Zone)의 EDAX 시험 그래프

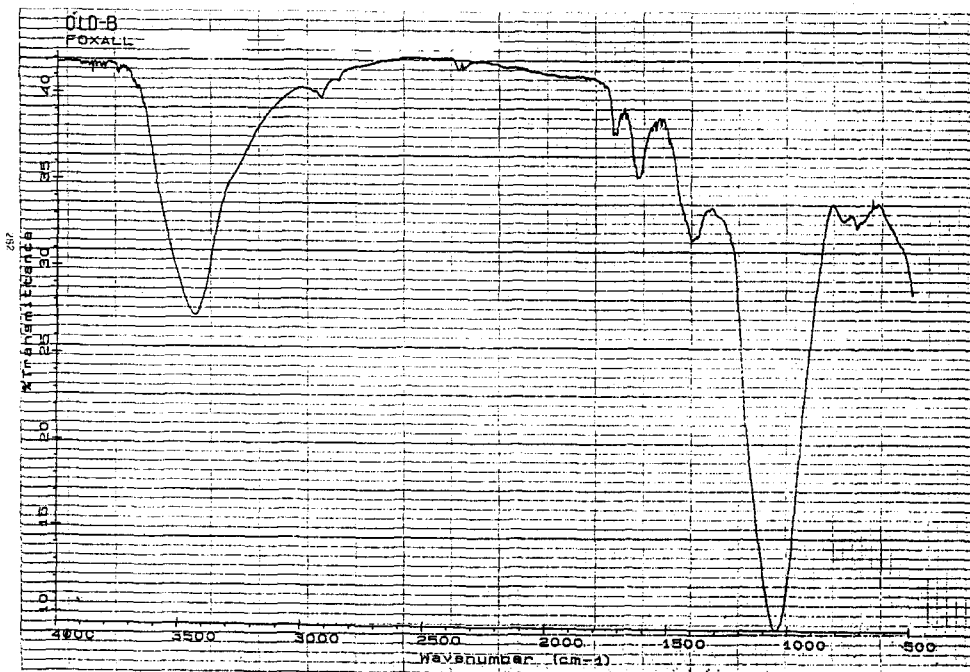


그림 10. 여재(OLD:B, B Zone)의 EDAX 시험 그래프

표 7 여재(NEW)의 EDAX시험 현황

MEMI WINDOW LABEL	NEW START KEV	END KEV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF FACTOR	% AGE TOTAL
NA	.92	1.14	12	16465	12943	1.00	11.86
MG	1.20	1.28	5	1719	204	1.00	.19
AL	1.38	1.58	11	11450	6748	1.00	6.18
SI	1.62	1.92	16	84633	77161	1.00	70.69
K	3.18	3.44	14	8850	5546	1.00	5.08
CA	3.60	3.80	11	5796	2205	1.00	2.02
BA	4.34	4.58	13	5876	2854	1.00	2.61
ZN	8.50	8.76	14	3258	1494	1.00	1.37

표 8 여재(OLD:A, A Zone)의 EDAX시험 현황

MEMI: WINDOW LABEL	A START KEV	END KEV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF FACTOR	% AGE TOTAL
F	.62	.72	6	2139	678	1.00	.76
NA	.92	1.14	12	11368	8380	1.00	9.42
MG	1.20	1.28	5	1416	99	1.00	.11
AL	1.38	1.58	11	9899	6104	1.00	6.86
SI	1.62	1.92	16	66765	60837	1.00	68.38
S	2.18	2.40	12	2925	759	1.00	.85
CL	2.52	2.74	12	3053	695	1.00	.78
K	3.18	3.44	14	7488	4198	1.00	4.72
CA	3.60	3.80	11	6682	3399	1.00	3.82
BA	4.34	4.58	13	5161	2366	1.00	2.66
ZN	8.50	8.76	14	3073	1456	1.00	1.64

표 9 여재(OLD:B, B zone)의 EDAX시험 현황

MEMI: FOXALL B WINDOW LABEL	START KEY	EN KEV	WIDTH CHANS	GROSS INTEGRAL	NET INTEGRAL	EFF FACTOR	% AGE TOTAL
F	.62	.72	6	797	89	1.00	.16
NA	.92	1.14	12	7732	5794	1.00	10.11
MG	1.20	1.28	5	1024	59	1.00	.10
AL	1.38	1.58	11	6099	3514	1.00	6.13
SI	1.62	1.92	16	43396	40332	1.00	70.39
S	2.18	2.40	12	1929	303	1.00	.53
CL	2.52	2.74	12	2247	417	1.00	.73
K	3.18	3.44	14	4964	3053	1.00	5.33
CA	3.60	3.80	11	3223	1194	1.00	2.08
BA	4.34	4.58	13	3481	1713	1.00	2.99
ZN	8.50	8.76	14	1862	833	1.00	1.45

표 10 여재의 Zone 별 산성분 함유량 검토 및 결과현황

NO	성분	Zone별 함유량 현황			비 고
		NEW 여재	OLD:A A Zone	OLD:B B Zone	
1	NA	11.86	9.42	10.11	
2	MG	0.19	0.11	0.10	
3	AL	6.18	6.86	6.13	
4	SI	70.69	68.38	70.39	
5	K	5.08	4.72	5.33	
6	CA	2.02	3.82	2.08	
7	BA	2.61	2.66	2.99	
8	ZN	1.37	1.64	1.45	
9	F	0	0.76	0.16	
10	S	0	0.85	0.53	PH값이 낮은 (산성도가 큰)
11	CL	0	0.78	0.73	
계		100	100	100	이유제공

표10에서의 검토 결과는 여재를 산성분위기(HF, H₂SO₄, HCL등)속에서 사용했다고 볼 수 있다.

재의 산화로 인한 분진의 누설을 방지시켜야 한다. 또한 경우에 따라서는 불순 가스로 인하여 필터의 여재가 변색되어 클린룸의 미관을 나쁘게 하는 경우도 있으므로 면밀한 확인이 필요하다.

4. 맺음말

이상과 같이 본고에서는 산업용 클린룸의 시공초기에서부터 필터 교환까지의 필터를 중심으로한 이상 발생 사례별로 조치 내용을 소개 하였다.

클린룸의 유지관리는 설치 초기의 청정도를 유지시키는 것이 관리의 포인트이므로 본고의 내용을 참고하여 관리하므로서 그 목적에 도달하는데 도움이 되리라 본다.

또한 특수한 정밀 기계공장에서는 또다른 이상 발생의 사례가 많이 있다고 본다.

예를 들면 “수분, 정전기, 이온, Co, Boron, 염해입자, 금속입자 등에 의한 발생의 사례”도 있으리라 본다.

향후에는 이러한 저해 요인들에 대해서도 계속 적절한 조치가 필요함을 부언한다.

- 참 고 문 헌 -

1. Air Filter Manual : 일본 CAMBRIDGE

FILTER(주), 소화 61년 11월

2. Air Filter Manual(I) : 한국 CAMBRIDGE FILTER(주), 서기 1991년 5월

3. Air Filter Manual(II) : 한국 CAMBRIDGE FILTER(주), 서기 1991년 8월

4. Clean Room과 Air Filter 기술 Seminar : 한국 CAMBRIDGE FILTER(주), 서기 1989년 10월

5. 공기청정제 기술자료 : 일본 곤도 공업(주), 서기 1992년 5월

6. MIL-F-51079 규격, 서기 1970년

7. MIL-F-51079 B 규격, 서기 1974년 3월 29일

8. MIL-F-51079 C 규격, 서기 1980년 3월 4일

9. UL-586 규격, 서기 1977년 4월 7일

10. FED.STD.209D 규격, 서기 1988년 6월 15일

11. TAPPI-T-410, 411, 413, 494 규격, 서기 1926~1983년

12. IES-RP-CC-001-86 규격, 서기 1986년 1월

13. HOLLINGSWORTH & VOSE CO.의 MEDIA MANUAL, 서기 1992년

14. LYDALL, INC TECHNICAL PAPERS DIVISION MANUAL, 서기 1992년